

CONTRIBUIÇÃO DAS FLUTUAÇÕES TÉRMICAS NA RESOLUÇÃO VERTICAL DE UM AFM

Bruno Tadeu de Sousa e Silva¹, Roberto Baginski Batista Santos
Centro Universitário da FEI
bno_tde@hotmail.com, rsantos@fei.edu.br

Resumo: Neste trabalho, estudamos o comportamento de um oscilador amortecido submetido a uma força externa estocástica. Estimamos a contribuição das flutuações térmicas para a resolução vertical de um microscópio de força atômica (AFM) em um intervalo relevante de temperaturas. Além de resultados analíticos, realizamos simulações numéricas e comparamos os resultados obtidos pelos dois métodos.

1. Introdução

O microscópio de força atômica (AFM) é um dos instrumentos mais versáteis para a análise de superfícies[1]. O AFM é composto basicamente por uma ponta que varre a superfície da amostra em estudo. Esta ponta é presa a um cantiléver, que sofre deflexão pela força de interação entre a ponta e a superfície da amostra. Um sistema laser é usado para medir a deflexão do cantiléver e, conseqüentemente, avaliar a força de interação. A resolução vertical de um AFM é limitada, entre outros fatores, por efeitos de flutuação térmica do cantiléver, por vibrações mecânicas e pela geometria da ponta. Neste trabalho, estimaremos a contribuição das flutuações térmicas para a resolução vertical de um AFM.

2. Metodologia

Para estimar a resolução vertical do AFM utilizamos de um modelo de oscilador amortecido de massa m submetido a uma força externa estocástica $F(t)$ de média nula[2,3],

$$\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = f(t) \quad (1)$$

em que γ é a constante de amortecimento, ω_0 é a frequência angular natural de oscilação e $f(t) = F(t)/m$. Esta equação foi tratada com a técnica da transformada de Fourier e os efeitos das flutuações térmicas foram descritos pelo teorema da equipartição da energia, que associa a energia $k_B T$ a cada grau de liberdade do sistema[2,3]. Com a utilização destas técnicas conseguimos determinar a variância da posição do cantiléver

$$\sigma_x^2 = k_B T / m \omega_0^2 \quad (2)$$

em que k_B é a constante de Boltzmann e T é a temperatura. O sistema descrito pela equação (1) também foi simulado no Matlab com auxílio do Simulink e os resultados obtidos foram comparados.

3. Resultados

A figura 1 apresenta os resultados analíticos e os resultados obtidos por simulação computacional para a resolução vertical do AFM para uma faixa relevante de temperaturas. Pode-se notar que os resultados concordam entre si e estão de acordo com as resoluções verticais típicas para equipamentos AFM usados comercialmente[4].

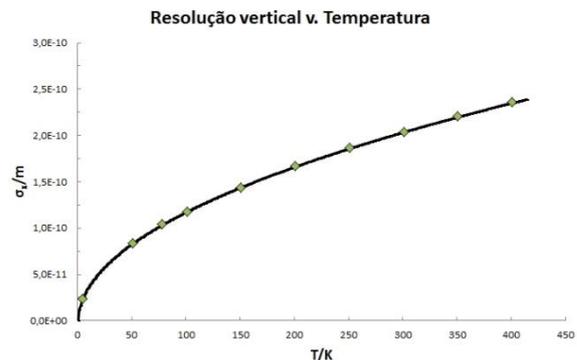


Figura 1. Resolução vertical em função da temperatura. A curva corresponde aos resultados teóricos e os pontos aos resultados de simulação.

4. Conclusões

Neste trabalho, estimamos a resolução vertical de um AFM como função da temperatura para um intervalo relevante de temperaturas. Os resultados obtidos sugerem que o modelo de oscilador estocástico é adequado para entendermos o comportamento básico do cantiléver de um AFM em equilíbrio térmico à temperatura T . Por outro lado, o tratamento que fizemos ignora a influência de outros fatores, como vibrações mecânicas, que podem ser tão relevantes quanto as flutuações térmicas. Por este motivo, os resultados obtidos devem ser entendidos como um limite inferior para a resolução de um AFM.

5. Referências

- [1] BINNIG, G.; QUATE, C.F.; GERBER, C. **Physical Review Letters** v.56, p.930, 1986.
- [2] NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica** v.2. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.
- [3] REIF, F. **Fundamentals of Statistical and Thermal Physics**. New York: McGraw-Hill, 1965.
- [4] SHIMADZU. **SPM 9700**. Disponível em: <<http://www.shimadzu.com/an/surface/spm/spm9700.html>>. Acesso em: 5 ago. 2013.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário da FEI pela concessão da bolsa de iniciação científica ao aluno Bruno Tadeu de Sousa e Silva.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário da FEI